

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-236302  
(P2000-236302A)

(43) 公開日 平成12年8月29日 (2000.8.29)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マ-ト\* (参考)

H 0 4 B 10/17

H 0 4 B 9/00

J 2 H 0 7 9

10/16

G 0 2 F 1/01

B 2 K 0 0 2

G 0 2 F 1/01

2/00

5 K 0 0 2

2/00

H 0 4 B 9/00

B

H 0 4 B 10/00

審査請求 未請求 請求項の数31 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平11-10121

(71) 出願人 000001214

ケイディディ株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(22) 出願日 平成11年1月19日 (1999.1.19)

(72) 発明者 宮崎 哲弥

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号ケイディディ株式会社内

(31) 優先権主張番号 特願平10-54663

(32) 優先日 平成10年3月6日 (1998.3.6)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 大谷 朋広

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号ケイディディ株式会社内

(31) 優先権主張番号 特願平10-356642

(32) 優先日 平成10年12月15日 (1998.12.15)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(74) 代理人 100090284

弁理士 田中 常雄

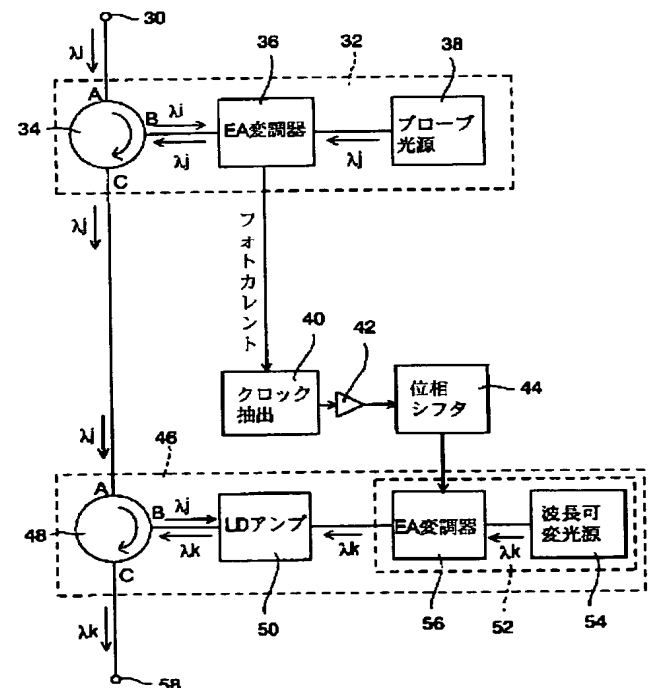
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ディジタル再生装置

(57) 【要約】

【課題】 高速フォトダイオードを不要にする。

【解決手段】 本線系からの信号光 (波長  $\lambda_i$ ) は、光入力端子 30 から波長変換器 32 に入力する。波長変換器 32 では、EA 変調器 36 に信号光とプローブ光源 38 からの CW プローブ光 (波長  $\lambda_j$ ) が入射する。EA 変調器 36 から出力されるプローブ光は、信号光の波形を反映した波形を具備し、光サーキュレータ 34 により、波長変換器 46 に供給される。EA 変調器 36 はまた、入射信号光の強度変動を反映したフォトカレントを発生し、クロック抽出回路 40 はそのフォトカレントからクロック成分を抽出する。波長変換器 46 では、プローブ光源 52 が、クロック抽出回路 40 により抽出されたクロック周波数のプローブ・パルス光 (波長  $\lambda_k$ ) を発生し、LD アンプ 50 が、波長変換器 32 からの信号光 ( $\lambda_j$ ) の波形をプローブ・パルス光 ( $\lambda_k$ ) に重ねる。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力信号光を光のままでデジタル再生する光デジタル再生装置であって、

第1のプローブ光を発生する第1のプローブ光発生手段、及び当該入力信号光の光強度波形に従い、当該第1のプローブ光発生手段から出力される当該第1のプローブ光の波形を変形する第1の光演算素子を具備する第1の光演算器と、

当該第1の光演算素子から発生されるフォトリントから当該入力信号光のクロック成分を抽出するクロック抽出手段と、

当該クロック抽出手段から出力されるクロックに応じてパルス化された第2のプローブ光を発生する第2のプローブ光発生手段、及び、当該第1の光演算器から出力される当該第1のプローブ光に従い、当該第2のプローブ光発生手段から出力される当該第2のプローブ・パルス光をサンプリングする第2の光演算素子を具備する第2の光演算器とからなることを特徴とする光デジタル再生装置。

【請求項2】 当該第1のプローブ光発生手段が発生する当該第1のプローブ光はCW光である請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項3】 当該第1の光演算素子が、所定DCバイアスを印加されたEA変調器からなる請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項4】 当該クロック抽出手段が、抽出されたクロックを位相調整する位相調整手段を具備する請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項5】 当該第1の光演算器が更に、当該第1の光演算素子により演算された当該第1のプローブ光を抽出して外部に出力する第1の抽出手段を具備し、当該第2の光演算器が更に、当該第2の光演算素子により演算された当該第2のプローブ光を抽出して外部に出力する第2の抽出手段を具備する請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項6】 当該第1のプローブ光発生手段の発生する当該第1のプローブ光の波長が当該入力信号光の波長とは異なる請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項7】 当該第2のプローブ光発生手段の発生する当該第2のプローブ光の波長が当該第1のプローブ光発生手段の発生する当該第1のプローブ光の波長とは異なる請求項1又は6に記載の光デジタル再生装置。

【請求項8】 更に、当該第1の光演算器の出力と当該第2の光演算器の入力との間であって、当該第1の光演算器から出力される光パルスのパルス幅を拡幅する光パルス拡幅手段を具備し、当該光パルス拡幅手段が、入力光を2つに分割し、各分割光を異なる光路を伝搬させた後、合波する手段からなる請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項9】 更に、当該第1の光演算器の出力と当該

第2の光演算器の入力との間であって、当該第1の光演算器から出力される光パルスのパルス幅を拡幅する光パルス拡幅手段を具備し、当該光パルス拡幅手段が、高分散媒質からなる請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項10】 更に、当該第1の光演算器の出力と当該第2の光演算器の入力との間であって、当該第1の光演算器から出力される光パルスのパルス幅を拡幅する光パルス拡幅手段を具備し、当該光パルス拡幅手段が、チャープトグレーティング・ファイバと、入力光を当該チャープトグレーティング・ファイバに供給し、当該チャープトグレーティング・ファイバからの反射光を外部に出力する光サーキュレータとからなる請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項11】 当該第1のプローブ光発生手段が、当該第1のプローブ光を出力するプローブ光源と、当該プローブ光源から出力される当該第1のプローブ光を、当該クロック抽出手段により抽出されたクロックに従い位相変調する位相変調手段を具備する請求項9又は10に記載の光デジタル再生装置。

【請求項12】 当該第1のプローブ光発生手段は、インコヒーレント光発生手段及び多波長光発生手段の少なくとも一方からなる請求項8、9又は10に記載の光デジタル再生装置。

【請求項13】 更に、当該第1の光演算器の出力と当該第2の光演算器の入力との間であって、当該第1の光演算器から出力される光パルスのパルス幅を拡幅する光パルス拡幅手段を具備し、当該光パルス拡幅手段が、互いに直交する偏波で伝搬特性が異なる媒質からなる請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項14】 更に、当該第1の光演算器の出力と当該第2の光演算器の入力との間であって、当該クロック抽出手段から出力されるクロックに従い、当該第1の光演算器の出力光を光ゲートする光ゲート装置を具備する請求項1に記載の光デジタル再生装置。

【請求項15】 当該光ゲート装置が、当該クロック抽出手段から出力されるクロックの位相を自動調整する位相制御手段を具備する請求項14に記載の光デジタル再生装置。

【請求項16】 当該光ゲート装置は、当該第1の光演算器の出力光を光ゲートする光ゲート素子と、当該クロック抽出手段から出力されるクロックの位相をシフトする位相シフト手段と、当該光ゲート素子の出力光を電気信号に変換する受光素子と、当該受光素子から出力される電気信号に従い、当該位相シフト手段における位相シフト量を制御する制御手段とからなる請求項14に記載の光デジタル再生装置。

【請求項17】 入力信号光を光のままでデジタル再生する光デジタル再生装置であって、

第1のプローブ光を発生する第1のプローブ光発生手段

を具備し、当該入力信号光の波形を当該第1のプローブ光に転写する第1の光演算器と、  
 入力光を2つに分割し、各分割光を異なる光路を伝搬させた後、合波する手段からなり、当該第1の光演算器から出力される光のパルス幅を拡張する光パルス拡張手段と、  
 第2のプローブ光を発生する第2のプローブ光発生手段を具備し、当該光パルス拡張手段の出力光により、当該第2のプローブ光発生手段から出力される当該第2のプローブ光をサンプリングする第2の光演算器と、  
 当該入力信号光に含まれるクロック成分を抽出するクロック抽出手段とからなり、当該第1のプローブ光発生手段及び当該第2のプローブ光発生手段の少なくとも一方が、当該クロック抽出手段の出力に応じてパルス化されたプローブ光を出力することを特徴とする光デジタル再生装置。

【請求項18】 当該第2のプローブ光発生手段が、当該クロック抽出手段の出力に応じてパルス化された当該第2のプローブ光を出力する請求項17に記載の光デジタル再生装置。

【請求項19】 当該第1のプローブ光の波長が当該入力信号光の波長とは異なり、当該第2のプローブ光の波長が当該第1のプローブ光の波長とは異なる請求項17に記載の光デジタル再生装置。

【請求項20】 入力信号光を光のままでデジタル再生する光デジタル再生装置であって、  
 第1のプローブ光を発生する第1のプローブ光発生手段を具備し、当該入力信号光の波形を当該第1のプローブ光に転写する第1の光演算器と、  
 高分散媒質を具備し、当該第1の光演算器から出力される光のパルス幅を拡張する光パルス拡張手段と、  
 第2のプローブ光を発生する第2のプローブ光発生手段を具備し、当該光パルス拡張手段の出力光により、当該第2のプローブ光発生手段から出力される当該第2のプローブ光をサンプリングする第2の光演算器と、  
 当該入力信号光に含まれるクロック成分を抽出するクロック抽出手段とからなり、当該第1のプローブ光発生手段及び当該第2のプローブ光発生手段の少なくとも一方が、当該クロック抽出手段の出力に応じてパルス化されたプローブ光を出力することを特徴とする光デジタル再生装置。

【請求項21】 当該第2のプローブ光発生手段が、当該クロック抽出手段の出力に応じてパルス化された当該第2のプローブ光を出力する請求項20に記載の光デジタル再生装置。

【請求項22】 当該第1のプローブ光の波長が当該入力信号光の波長とは異なり、当該第2のプローブ光の波長が当該第1のプローブ光の波長とは異なる請求項20に記載の光デジタル再生装置。

【請求項23】 当該光パルス拡張手段が、当該高分散

媒質としてのチャープトグレーティング・ファイバと、  
 入力光を当該チャープトグレーティング・ファイバに供給し、当該チャープトグレーティング・ファイバからの反射光を外部に出力する光サーキュレータとからなる請求項20に記載の光デジタル再生装置。

【請求項24】 当該第1のプローブ光発生手段が、当該第1のプローブ光を出力するプローブ光源と、当該プローブ光源から出力される当該第1のプローブ光を、当該クロック抽出手段により抽出されたクロックに従い位相変調する位相変調手段を具備する請求項20に記載の光デジタル再生装置。

【請求項25】 当該第1のプローブ光発生手段は、インコヒーレント光発生手段及び多波長光発生手段の少なくとも一方からなる請求項20に記載の光デジタル再生装置。

【請求項26】 入力信号光を光のままでデジタル再生する光デジタル再生装置であって、  
 第1のプローブ光を発生する第1のプローブ光発生手段を具備し、当該入力信号光の波形を当該第1のプローブ光に転写する第1の光演算器と、  
 互いに直交する偏波で伝搬特性が異なる媒質を具備し、当該第1の光演算器から出力される光のパルス幅を拡張する光パルス拡張手段と、  
 第2のプローブ光を発生する第2のプローブ光発生手段を具備し、当該光パルス拡張手段の出力光により、当該第2のプローブ光発生手段から出力される当該第2のプローブ光をサンプリングする第2の光演算器と、  
 当該入力信号光に含まれるクロック成分を抽出するクロック抽出手段とからなり、当該第1のプローブ光発生手段及び当該第2のプローブ光発生手段の少なくとも一方が、当該クロック抽出手段の出力に応じてパルス化されたプローブ光を出力することを特徴とする光デジタル再生装置。

【請求項27】 当該第2のプローブ光発生手段が、当該クロック抽出手段の出力に応じてパルス化された当該第2のプローブ光を出力する請求項26に記載の光デジタル再生装置。

【請求項28】 当該第1のプローブ光の波長が当該入力信号光の波長とは異なり、当該第2のプローブ光の波長が当該第1のプローブ光の波長とは異なる請求項26に記載の光デジタル再生装置。

【請求項29】 入力信号光を光のままでデジタル再生する光デジタル再生装置であって、  
 当該入力信号光に含まれるクロック成分を抽出するクロック抽出手段と、

第1のプローブ光を発生する第1のプローブ光発生手段を具備し、当該入力信号光の波形を当該第1のプローブ光に転写する第1の光演算器と、  
 当該クロック抽出手段から出力されるクロックに従い、当該第1の光演算器の出力光を光ゲートする光ゲート装

置と、

当該光ゲート装置から出力される光のパルス幅を拡張する光パルス拡張手段と、

第2のプロープ光を発生する第2のプロープ光発生手段を具備し、当該光パルス拡張手段の出力光により、当該第2のプロープ光発生手段から出力される当該第2のプロープ光をサンプリングする第2の光演算器とからなり、当該第1のプロープ光発生手段及び当該第2のプロープ光発生手段の少なくとも一方が、当該クロック抽出手段の出力に応じてパルス化されたプロープ光を出力することを特徴とする光デジタル再生装置。

【請求項30】 当該光ゲート装置が、当該クロック抽出手段から出力されるクロックの位相を自動調整する位相制御手段を具備する請求項29に記載の光デジタル再生装置。

【請求項31】 当該光ゲート装置は、当該第1の光演算器の出力光を光ゲートする光ゲート素子と、当該クロック抽出手段から出力されるクロックの位相をシフトする位相シフト手段と、当該光ゲート素子の出力光を電気信号に変換する受光素子と、当該受光素子から出力される電気信号に従い、当該位相シフト手段における位相シフト量を制御する制御手段とからなる請求項29に記載の光デジタル再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光デジタル再生装置に関し、より具体的には、光のままで光信号を再生する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】将来の大容量波長分割多重(WDM)光ネットワーク上の光クロスコネクタノードでは、1波長あたりのビットレート及び多重波長数の増大に伴い、光信号を各波長ごとに電気的に終端して再生中継する方式に代わり、光信号のまま情報を再生する全光信号再生方式が注目されている。

【0003】あらかじめ経路ごとに使用波長が割り当てられたWDM光ネットワークの場合、光デジタル再生装置の入波長と出力波長は一致する必要があるが、波長変換を積極的に導入したWDM光ネットワークでは波長の再利用により波長数を節約できる。この場合、光デジタル再生装置の入波長と出力波長は一致しないこともある。そこで、従来の光デジタル再生装置は、何れの光ネットワークにも適用できるような汎用性を持たせるために、2段の波長変換部を具備する構成が採用されている。

【0004】従来の光デジタル再生装置の概略構成ブロック図を図4に示す。入力端子10には、本線系からの信号光が入力する。入力端子10に入力する信号光(波長 $\lambda_i$ )は、光カップラ12により分波されて高速フォトダイオード14に入力し、電気信号に変換されて

クロック抽出回路16に印加される。クロック抽出回路16は、フォトダイオード14の出力から、信号光のクロック成分を抽出する。

【0005】入力端子10に入力する信号光(波長 $\lambda_i$ )はまた、波長変換器18に入力する。波長変換器18は、入力端子10から入力する信号光を別の波長 $\lambda_j$ に変換する。波長変換器18により波長 $\lambda_j$ に波長変換された信号光は、第2の波長変換器20に入力する。波長変換器20は、波長変換器18の出力光が入力する光入力端子のほかにクロック入力端子を具備する。クロック入力端子には、クロック抽出回路16により抽出されたクロックが、アンプ22で増幅され、位相シフタ24により位相をシフト(調整)されて入力する。波長変換器20は、そのクロック入力端子に入力するクロックから形成されるは長 $\lambda_k$ のRZプロープ・パルス光の波形に波長変換器18からの波長 $\lambda_j$ の信号光を重ねあわせて、出力する。これにより、信号光の波長が波長 $\lambda_j$ から波長 $\lambda_k$ に変換され、同時に、信号光がリタイミング及び波形整形される。

【0006】抽出したクロックにより、初段の波長変換器でリタイミング及び波形整形(リシェーピング)するようにした従来例もある(例えば、1998年2月に開催された光ファイバコンファレンスにおけるB. Lavigne他, "Experimental analysis of SOA-based 2R and 3R optical regeneration for future WDM networks", OFC'98, Technical Digest, pp. 324-325参照)。図5は、その従来例の概略構成ブロック図を示す。

【0007】入力端子110には、波長 $\lambda_0$ の入力信号光(NRZ光パルス)が本線系から入力する。入力端子110に入力する信号光(波長 $\lambda_0$ )は、光カップラ112により分波されてクロック再生回路114に入力する。クロック再生回路114は高速フォトダイオードを具備し、光カップラ112からの光パルスを電気信号に変換し、信号光に含まれるクロック成分を電気的に抽出する。LD駆動回路116は、クロック再生回路114により再生されたクロックに従って、DFBレーザ118及び120をパルス駆動する。DFBレーザ118及び120は、互いに異なる波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ でレーザ発振し、クロック再生回路114で再生されたクロックに同期したパルス光(プロープパルス光)を出力する。DFBレーザ118, 120から出力されるプロープパルス光は合波器122により合波されて、半導体光増幅器(SOA)124の一端面に入射する。

【0008】入力端子110に入力する信号光(波長 $\lambda_0$ )はまた、光サーキュレータ126のポートAに入力して、そのポートBから出力される。ポートBから出力される入力信号光は、SOA124の別の端面に入射す

る。SOA124内で、波長 $\lambda_0$ の信号光と波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のプロープパルス光は互いに逆方向に進行し、その間に、クロス・ゲイン・モジュレーション作用により、信号光のパルス波形又はビット情報がプロープパルス光に転写される。即ち、SOA124から光サーキュレータ126のポートBに向けて出射するプロープパルス光は、入力端子110に入力する信号光（波長 $\lambda_0$ ）と同じビット情報を搬送するRZパルスになっている。

【0009】SOA124から出力されるプロープパルス光（波長 $\lambda_1 + \lambda_2$ ）は、光サーキュレータ126のポートBに入力し、そのポートCから出力して、波長分離素子128により波長 $\lambda_1$ の成分と波長 $\lambda_2$ の成分に分離される。波長分離素子128により分離された波長 $\lambda_1$ の成分と波長 $\lambda_2$ の成分は、異なる光路130a、130bを伝搬して、合波器132により合波される。光路130a、130bは、例えば、波長 $\lambda_2$ の成分の伝搬時間が波長 $\lambda_1$ の成分の伝搬時間に対して1ビット期間の半分だけ遅れるように設定されている。これにより、合波器132による合波後では、パルス光は、NRZ光パルスになっている。

【0010】合波器132の出力光はマッハツェンダ干渉計型（MZI）波長変換器134の第1の端面の第1ポートに入力し、MZI波長変換器134内の一方の光路に導かれる。MZI波長変換器134の第2の端面には、DFBレーザ136からCWレーザ光が入射する。DFBレーザ136の発振波長 $\lambda_i$ は、DFBレーザ118、120の発振波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の何れとも異なる。

DFBレーザ136の出力光は、MZI波長変換器134内で分波されて2つの光路を伝搬して再度、合波され、MZI波長変換器134の第1端面の第2ポートから出力される。MZI波長変換器134内の1つの光路には、合波器132の出力光が逆方向に伝搬する。MZI波長変換器134は、波長 $\lambda_1 + \lambda_2$ のパルス信号を、波長 $\lambda_i$ に変換する。SOA124及びMZI波長変換器134において信号波形はそれぞれ反転されて、最終的な出力として非反転の再生された光信号波形を得ることができる。MZI波長変換器134における波長変換は、主として消光比を改善することを目的とする。

【0011】光バンドパスフィルタ138は、MZI波長変換器134の第1端面の第2ポートから出力される光から波長 $\lambda_i$ の成分のみを抽出する。各部での反射により波長 $\lambda_0$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の光が混入するのを防止するためである。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】図4に示す従来例では、クロック抽出のために光カップラ12、高速フォトダイオード14及びクロック抽出回路16を必要とする。各波長ごとに全光信号再生を行う場合、ノードに配備される光カップラ12及びフォトダイオード14が波長数分だけ必要となり、コストの上昇と信頼性の低下を

招く。

【0013】図5に示す従来例では、第1段の波長変換で2つのプロープ光源を必要とし、これが、信頼性を低下させ、コストを増大させる。また、2つの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を分離する波長分離素子128が必要になり、これが、コストを増大させる。DFBレーザ118、120の発振波長を、長期にわたり波長分離素子128の波長分離特性に合致させなければならず、このためには、高度の波長安定化技術が必要となる。

【0014】本発明は、これらの問題点を解決し、より高い信頼性で光パルス信号を光のまま再生する光デジタル再生装置を提示することを目的とする。

【0015】本発明はまた、高速フォトダイオードを不要にして、信頼性を向上し、コストを低減した光デジタル再生装置を提示することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光デジタル再生装置は、入力信号光を光のままデジタル再生する光デジタル再生装置であって、第1のプロープ光を発生する第1のプロープ光発生手段、及び当該入力信号光の光強度波形に従い、当該第1のプロープ光発生手段から出力される当該第1のプロープ光の波形を変形する第1の光演算素子を具備する第1の光演算器と、当該第1の光演算素子から発生されるフォトリントから当該入力信号光のクロック成分を抽出するクロック抽出手段と、当該クロック抽出手段から出力されるクロックに応じてパルス化された第2のプロープ光を発生する第2のプロープ発生手段、及び、当該第1の光演算器の出力光により搬送される信号に従い、当該第2のプロープ光発生手段から出力される当該第2のプロープ・パルス光をサンプリングする第2の光演算素子を具備する第2の光演算器とからなることを特徴とする。

【0017】第1の光演算器の第1の光演算素子から入力信号光のクロックを抽出するので、クロック抽出のための高速フォトダイオード及び分波のための光カップラが不要になる。これにより、光素子を削減でき、信頼性の向上とコスト低減を達成できる。第2の光演算器では、抽出したクロックによりアローブ・パルス光を生成して、第1の光演算器の出力光と波形演算することにより、信号光をリタイミングでき、波形整形できる。

【0018】第1のプロープ光発生手段が発生するアローブ光をCW光とすることにより、クロック抽出が容易になる。第1の光演算素子は、例えば、所定DCバイアスを印加されたEA変調器からなる。

【0019】クロック抽出手段は、抽出されたクロックを位相調整する位相調整手段を具備する。これにより、第2の光演算器における光演算、所謂、波長変換でリタイミング及び波形整形を適切なタイミングで行える。

【0020】第1の光演算器に、当該第1の光演算素子により演算されたアローブ光を取り出す第1の抽出手段

を設け、第2の光演算器に、当該第2の光演算素子により演算されたプローブ光を取り出す第2の抽出手段を設けることで、それぞれ第1の光演算素子及び第2の光演算素子で例えば、信号光とプローブ光を逆方向から入射しても、波形演算されたプローブ光を信号光とは分離して効率的に取り出せる。即ち、各素子の配置が容易になる。

【0021】第1のプローブ光発生手段の発生するプローブ光の波長 $\lambda_j$ を入力信号光の波長 $\lambda_i$ とは異なるものにする事で、干渉とクロストークの問題を軽減又は解消できる。

【0022】第2のプローブ光発生手段の発生するプローブ光の波長 $\lambda_k$ を第1のプローブ光発生手段の発生するプローブ光 $\lambda_j$ の波長とは異なるものにする事で、ここでも、干渉とクロストークの問題を軽減又は解消できる。

【0023】光パルス拡幅手段を設けることにより、入力信号光のジッタに強くなり、第2の光演算器において、正しいタイミングの信号光パルスを得ることができる。光パルス拡幅手段は、例えば、入力光を2つに分割し、各分割光を異なる光路を伝搬させた後、合波する手段からなる。光パルス拡幅手段は、高分散媒質からなる。光パルス拡幅手段は例えば、高分散媒質チャープトグレーティング・ファイバと、入力光を当該チャープトグレーティング・ファイバに供給し、当該チャープトグレーティング・ファイバからの反射光を外部に出力する光サーキュレータとからなる。このような受動素子を使用することにより、長期にわたり安定した動作を期待でき、信頼性の高い3R再生装置を実現できる。第1の光演算器で2波長のプローブ光発生手段を必要としない。これもまた、信頼性の向上に寄与する。

【0024】高分散媒質又はチャープトファイバ・グレーティングを使用する光パルス拡幅手段に対しては、当該第1の光演算器に、第1のプローブ光発生手段から出力される当該第1のプローブ光を、当該クロック抽出手段により抽出されたクロックに従い位相変調する位相変調手段を設けることで、光パルス拡幅手段をより小型化できる。例えば、高分散媒質は例えば高分散ファイバからなり、その長さを大幅に短縮、例えば半減できる。

【0025】上述の光パルス拡幅手段を使用する場合、第1のプローブ光発生手段を、インコヒーレント光発生手段及び多波長光発生手段の少なくとも一方からなるようにすることで、干渉の悪影響を防ぎ、また、光パルス拡幅効果を高めることができる。

【0026】光パルス拡幅手段はまた、互いに直交する偏波で伝搬特性が異なる媒質からなるからなるものであってもよい。第1のプローブ光発生手段からこの光パルス拡幅手段までの光路を偏波保持型にする必要があるものの、非常に簡単な構成で光パルスを拡げることができる。

【0027】更に、当該第1の光演算器の出力と当該第2の光演算器の入力との間にあって、当該クロック抽出手段から出力されるクロックに従い、当該第1の光演算器の出力光を光ゲートする光ゲート装置を設けることにより、消光比を改善できる。この光ゲート装置と上述の光パルス拡幅手段と併用することで、第2の光演算器におけるサンプリングで失敗の確率が低下する。

【0028】光ゲート装置が、当該クロック抽出手段から出力されるクロックの位相を自動調整する位相制御手段を具備することにより、この光ゲート装置の光ゲート作用を入力信号光のジッタに追従させることができる。これもまた、ジッタに対する余裕を増すことにつながる。

【0029】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0030】図1は、本発明の一実施例の概略構成ブロック図を示す。30は、本線系からの信号光（波長 $\lambda_i$ ）が入力する光入力端子である。光入力端子30からの信号光（波長 $\lambda_i$ ）は、波長変換器32に入力する。波長変換器32は、ポートAの入力光をポートBに出力し、ポートBの入力光をポートCに出力する3ポートA、B、Cの光サーキュレータ34、一定DC電圧でバイアスされた電気吸収（EA）型光変調器36、及び、波長 $\lambda_i$ とは異なる波長 $\lambda_j$ のCWプローブ光を発生するプローブ光源38からなる。

【0031】光入力端子30からの信号光（波長 $\lambda_i$ ）が、光サーキュレータ34のポートAに入力し、光サーキュレータ34のポートBはEA変調器36の一端面と光学的に結合し、プローブ光源38から出力されるプローブ光（波長 $\lambda_j$ ）がEA変調器36の他端面に入射する。光サーキュレータ34のポートCの出力光が、波長変換器32の波長変換出力となる。このような波長変換器32の詳細は、平成8年特許願第233796号明細書及び図面（特に図1）に詳細に説明されている。

【0032】EA変調器36の電極には、入力光（光サーキュレータ34のポートBからの波長 $\lambda_i$ の信号光）の強度変化に応じたフォトカレントが発生する。発生したフォトカレントはクロック抽出回路40に印加され、クロック抽出回路40は入力するフォトカレントからクロック成分を抽出及び再生し、電気クロック信号を出力する。EA変調器36の電極におけるフォトカレントの発生とクロック抽出の技術については、平成9年特許願第189748号明細書及び図面に詳細に説明されている。

【0033】クロック抽出回路40により抽出されたクロックは、アンプ42により増幅され、位相シフタ44により位相シフト（位相調整）されて、第2の波長変換器46に印加される。

【0034】波長変換器32（の光サーキュレータ34

のポートC)から出力される波長 $\lambda_j$ の信号光は、第2の波長変換器46に入力する。波長変換器46は、光サーキュレータ34と同様の3ポートA、B、Cの光サーキュレータ48、半導体レーザ増幅器50、及び、半導体レーザ増幅器50における波長変換のためにパルス位相及びパルス周波数を調整されたプローブ・パルス光(波長 $\lambda_k$ )を発生するプローブ光源52からなる。プローブ光源52は例えば、離散的に発振波長を変更できる波長可変光源54と、波長可変光源54の出力レーザ光を強度変調する光変調器56からなる。光変調器56には変調信号として、クロック抽出回路40から出力するクロックをアンプ42で増幅し、位相シフタ44により位相シフト(位相調整)した信号が印加される。

【0035】半導体レーザ増幅器50は、波長変換器32のEA変調器36と同様に、波長変換素子として作用する。半導体レーザ増幅器50の代わりにEA変調器を使用しても良いことは、平成8年特許願第233796号明細書からも明らかである。波長変換器46ではもはやクロック成分を抽出する必要が無いので、半導体レーザ増幅器50を使用した、半導体レーザ増幅器50の代わりに、Journal of lightwave Technology, vol. 14, No. 6, pp. 942-954, 1996に記載されるクロスフェーズモジュレーション効果による波長変換素子を用いても良い。

【0036】波長変換器32からの信号光(波長 $\lambda_j$ )は、光サーキュレータ48のポートAに入力し、光サーキュレータ48のポートBから出力されて半導体レーザ増幅器50の一端面に入射する。プローブ光源52では、波長可変光源54が波長 $\lambda_k$ のCW光を発生する。波長 $\lambda_k$ は離散的に変更でき、 $\lambda_k = \lambda_i$ であってもよい。先に説明したように、クロック抽出回路40から出力されるクロックが、アンプ42及び位相シフタ44を介してEA変調器56の電極に印加されており、EA変調器56は、クロック抽出回路40の出力するクロックに従って波長可変光源54の出力光をRZ波形に強度変調する。プローブ光源52の出力光(波長 $\lambda_k$ )が、半導体レーザ増幅器50の他端面に入射し、半導体レーザ増幅器50において波長 $\lambda_j$ の信号光波形を重ねられて光サーキュレータ48のポートBに入射し、光サーキュレータ48のポートCから出力する。光サーキュレータ48のポートCの出力光が、波長変換器46の波長変換出力となり、光出力端子58から外部(本線系)に出力される。

【0037】EA変調器56と波長可変光源54の部分の代わりに、高速変調可能な半導体レーザ・ダイオードを用いて、ECC(ヨーロピアン・コンファレンス・オブ・オプティカル・コミュニケーション)'97, 22-25, Sep. '97 Conference Publication No. 448, Post dea

d line papers pp. 89-92に記載されるように、ゲインスイッチ効果によりクロックに応じたRZプローブ光を発生させてもよい。

【0038】本実施例の動作を説明する。本線系からの信号光(波長 $\lambda_i$ )は、光入力端子30から波長変換器32に入力する。波長変換器32に入力した信号光(波長 $\lambda_i$ )は、光サーキュレータ34のポートAからポートBに転送され、EA変調器36の一端面に入射する。プローブ光源38から出力されるCWプローブ光(波長 $\lambda_j$ )がEA変調器36の他端面に入射する。EA変調器36内を波長 $\lambda_i$ の信号光と波長 $\lambda_j$ のCWプローブ光が互いに逆方向に進行し、その間に、平成8年特許願第233796号に説明されるように、信号光( $\lambda_i$ )の波形がプローブ光(波長 $\lambda_j$ )に転写される。この結果、波長変換器32に入射する信号光(波長 $\lambda_i$ )と基本的に同じ情報を保持するプローブ光(波長 $\lambda_j$ )が光サーキュレータ34のポートBに入射する。

【0039】EA変調器36により波長 $\lambda_j$ に波長変換された信号光、即ち、EA変調器36を透過したプローブ光は、光サーキュレータ34のポートBに入力し、ポートCから第2の波長変換器46に出力される。波長変換器32により、信号光は波長 $\lambda_i$ から波長 $\lambda_j$ に波長変換されたことになる。

【0040】EA変調器36の電極には、平成9年特許願第189748号に詳細に説明されているように、その入射光の強度変動を反映して変動するフォトカレントが発生する。強度変動する入射光は、光サーキュレータ34のポートBからの信号光(波長 $\lambda_i$ )であるので、発生するフォトカレントは、光入力端子30に入力する信号光(波長 $\lambda_i$ )のクロック成分を具備する。クロック抽出回路40はそのフォトカレントからクロック成分を抽出する。クロック抽出回路40により抽出されたクロックは、アンプ42により増幅され、位相シフタ44により位相シフト(調整)されて、波長変換器46におけるリタイミング及び波形整形のために、波長変換器46のプローブ光源52のEA変調器56の電極に印加される。クロック抽出にフォトカレントを使用するので、従来例の光カップラ12及び高速フォトダイオード14は不要になる。

【0041】波長変換器46は、基本的には波長変換器32と同様の動作により、入力する信号光の波長 $\lambda_j$ を波長 $\lambda_k$ に変換する。なお、波長 $\lambda_k$ は、光入力端子30に入力する信号光の波長 $\lambda_i$ と一致しても、一致しなくても良い。

【0042】波長変換器46に入力した信号光(波長 $\lambda_j$ )は、光サーキュレータ48のポートAからポートBに転送され、半導体レーザ増幅器50の一端面に入射する。プローブ光源52では、波長可変光源54が波長 $\lambda_k$ のCW光を発生し、EA変調器56に印加する。EA変調器56には、クロック抽出回路40の出力クロック

をアンプ42で増幅し、位相シフト44により位相調整した信号が変調信号として印加されており、EA変調器56はこの変調信号に従って波長可変光源54からのCWプローブ光を強度変調してプローブ・パルス光を生成する。生成されたプローブ・パルス光(波長 $\lambda_k$ )は、半導体レーザ増幅器50の他端面に入射する。

【0043】半導体レーザ増幅器50内を光サーキュレータ48からの波長 $\lambda_j$ の信号光と プローブ光源52からの波長 $\lambda_k$ のプローブ・パルス光とが互いに逆方向に進行し、その間に、波長変換器32のEA変調器36と同様の作用により、信号光(波長 $\lambda_j$ )の波形がプローブ光(波長 $\lambda_k$ )に転写される。この結果、波長変換器46に入射する信号光(波長 $\lambda_j$ )と基本的に同じ情報を保持するプローブ光(波長 $\lambda_k$ )が光サーキュレータ48のポートBに入射し、ポートCから光出力端子58に出力される。即ち、光入力端子58から、波長 $\lambda_k$ の信号光が外部(本線系)に出力される。

【0044】波長変換器46では、プローブ光源52の発生するプローブ光が、光入力端子30に入力する信号光(波長 $\lambda_i$ )のクロックと同じ繰り返し周波数でパルス化されているので、半導体レーザ増幅器50では、波長変換と同時に、リタイミングと波形整形が行われる。

【0045】本実施例を、例えば光クロス・コネクタ装置に利用することで、より柔軟な経路選択が可能になる。図2は、その光クロスコネクタノードの概略構成ブロック図を示す。

【0046】60a, 60b, 60c, 60dはそれぞれ異なる光伝送路からの波長分割多重光が入力する光入力端子である。ここでは、光入力端子60a~60dの入力光は、M波長(Mは例えば、16とか32である。)が波長分割多重されたものであるとする。62a~62dは、光入力端子60a~60dからの波長多重光を増幅する光アンプ、64a, 64b, 64c, 64dはそれぞれ、光アンプ62a, 62b, 62c, 62dの出力光を個別波長に分離する波長分離素子(具体的には、1×Mのアレイ導波路格子)である。波長分離素子64aの各波長の出力はそれぞれ、図1に示す構成からなる全光信号再生装置66a-1~66a-Mを介して、M×4光スイッチ68aの各入力に接続する。波長分離素子64b, 64c, 64dの各波長の出力についても同様に、図1に示す構成からなる全光信号再生装置66b-1~66b-M, 66c-1~66c-M, 66d-1~66d-Mを介して、M×4光スイッチ68b, 68c, 68dの各入力に接続する。

【0047】M×4光スイッチ68aの4つの出力のそれぞれは、4×1光カップラ70a, 70b, 70c, 70dの第1入力に接続し、M×4光スイッチ68bの4つの出力のそれぞれは、4×1光カップラ70a, 70b, 70c, 70dの第2入力に接続し、M×4光スイッチ68cの4つの出力のそれぞれは、4×1光カッ

プラ70a, 70b, 70c, 70dの第3入力に接続し、M×4光スイッチ68dの4つの出力のそれぞれは、4×1光カップラ70a, 70b, 70c, 70dの第4入力に接続する。

【0048】4×1光カップラ70a~70dの出力はそれぞれ、光アンプ72a~72dを介して光出力端子74a~74dに接続する。光出力端子74a~74dは互いに異なる光伝送路に接続する。

【0049】図2に示すクロスコネクタ装置の動作を説明する。入力端子60a~60dに入力した波長多重光は、それぞれ光アンプ62a~62dにより増幅されて波長分離素子64a~64dに入射し、個々の信号波長に分離される。波長分離素子64a~64dから出力される各波長の信号光は、それぞれ、図1に示す構成からなる全光信号再生装置66a-1~66a-M, 66b-1~66b-M, 66c-1~66c-M, 66d-1~66d-Mによりリタイミング及び波形整形、並びに必要により波長変換されて、M×4光スイッチ68b, 68c, 68dの各入力に接続する。

【0050】M×4光スイッチ68a~68dは、M個の入力光入力光を所望の組み合わせで4つの出力ポートに配分することができる。M×4光スイッチ68a~68dの第1出力ポートの出力光は4×1光カップラ70aで合波(波長分割多重)され、M×4光スイッチ68a~68dの第2出力ポートの出力光は4×1光カップラ70bで合波(波長分割多重)され、M×4光スイッチ68a~68dの第3出力ポートの出力光は4×1光カップラ70cで合波(波長分割多重)され、M×4光スイッチ68a~68dの第4出力ポートの出力光は4×1光カップラ70dで合波(波長分割多重)される。光カップラ70a~70dの合波出力光はそれぞれ、光アンプ72a~72dで光増幅され、出力端子74a~74dから外部に出力される。

【0051】波長分離後の個別波長を全光信号再生装置66a-1~M, 66b-1~M, 66c-1~M, 66d-1~Mにより必要により波長変換して、M×4光スイッチ68a~68dにより出力先を選択することにより、複数のリング・ネットワークの結合点でリングを越えた光信号の伝送を可能にする。また、障害等のイベントに応じた経路選択も可能になる。

【0052】図1に示す実施例で、出力波長 $\lambda_k$ は、光ネットワークで使用される波長に可能な限り一致するのが好ましい。波長分割多重された多数の波長、例えば、32波長を波長分離する素子として、アレイ導波路格子が有力視されている。図3は、アレイ導波路格子を使用して波長選択性を持たせた波長可変プローブ光源の概略構成ブロック図を示す。図3に示す波長可変プローブ光源はファイバ・リング・レーザになっており、そこでは、波長を分離するアレイ導波路格子80、発振波長を選択する光スイッチ82、光増幅器84、抽出クロック



(位相シフタ44の出力)によりレーザ光をパルス化するE A変調器86、縦モードロック周波数を抽出クロック周波数に一致させるための半導体レーザ増幅器88及び光カップラ90、92がリングを構成するように接続されている。

【0053】アレイ導波路格子80は光カップラ92の一方の出力光を $\lambda_1 \sim \lambda_{32}$ の32波長に分離し、光スイッチ82が、アレイ導波路格子80の各波長の出力の内の1波長(即ち、発振波長)を選択する。光スイッチ82により選択された波長光は、光増幅器84により増幅され、E A変調器86に入射する。E A変調器86の電極には、位相シフタ44からのクロック信号が印加されており、入射光はそのクロックにより強度変調され、モードロック短パルス光(RZパルス光)となる。

【0054】E A変調器86の出力光は、半導体レーザ増幅器88に入射し、ここで増幅され、位相調整される。即ち、半導体レーザ増幅器88の出力光は光カップラ90により2分割され、一方が光カップラ92に、他方が高速波形モニタ94に入射する。高速波形モニタ94は入射光を光電変換し、光パルス波形をモニタする。光パルス波形が所望のものになるように、高速波形モニタ94は、半導体レーザ増幅器88に印加するバイアスをバイアス制御回路96により制御する。これにより、モードロック周波数を抽出クロック周波数に一致させる。

【0055】光カップラ92に入射した光は、2分割され、一方がアレイ導波路格子80に入力し、他方が、プローブ・パルス光として外部に出力される。このようにして、光ネットワークで指定される複数の波長に一致する波長を選択できる。

【0056】波長変換器32と同46の間に、光パルス幅を拡げる光パルス拡幅器を設けると、ジッタに強くすることができる。図6は、その変更実施例の概略構成ブロック図を示す。図1と同じ構成要素には同じ符号を付してある。98は、波長変換器32(の光サーキュレータ34のポートC)から出力される光パルスのパルス幅を拡げる光パルス拡幅器である。

【0057】図5に示す従来例のように、異なる波長の2つのプローブ光を使用し、異なる光路長を伝搬した後合波する構成では、2つのプローブ光源を必要とするだけでなく、波長分離素子128により2つの波長を高精度に分離しなければならないので、2つの波長を高度に安定化しなければならない。従って、長期にわたり高い信頼性を確保することが難しく、高価なものになってしまう。

【0058】これに対し、図6に示す実施例では、光パルス拡幅器98が石英製光導波路によるマッハツェンダ干渉計からなるので、長期にわたり安定した伝送特性を保持でき、装置全体の信頼性が向上する。光パルス拡幅器98では、波長変換器32から光パルス拡幅器98に

入射した光パルス(波長 $\lambda_j$ )は、分波器98aにより2分割され、光路長の異なる2つの光路98b、98cを伝搬する。2つの光路98b、98cを伝搬した光は、合波器98dにより合波されて、第2の波長変換器46の光サーキュレータ48のポートAに入射する。2つの光路98b、98cの光路長は、合波器98dにおける合波により光パルス幅が2倍程度にまで広がるように、その差を調節してある。合波器98dによる合波の際に、2つの光路98b、98cを伝搬した光パルスが時間軸上で重なる部分で干渉を生じ、合波後の光パルス波形が変動する。一方の光路98cにヒータ98eを配置し、その温度を調節することで、光路98b、98c間の光位相差を、合成後の波形が最適な形(ピークが平坦な波形)になるように調節する。

【0059】ヒータ98eを設ける代わりに、分波器98a及び合波器98dを偏光ビームスプリッタとし、光路98b上をTE波(又はTM波)、光路98c上をTM波(又はTE波)をそれぞれ伝搬させるようにすればよい。この場合、プローブ光源38から光パルス拡幅器98までの光路で偏波を保存する必要がある。

【0060】光パルス拡幅器98により光パルスのパルス幅を拡げておいて、波長変換器46では、パルス幅の広がった光パルスによりプローブ・パルス光をサンプリングするので、タイミング及び波形共に良好な光パルス出力を得ることができる。光パルス拡幅器98が長期にわたり伝達特性を安定的に維持できる受動素子からなるので、本実施例は、長期にわたり安定した光再生機能を維持できる。いうまでもないが、故障も少ない。

【0061】光パルス拡幅器98として高分散媒質、例えば、累積波長分散を補償するのに使用される高分散ファイバでもよい。但し、現状の高分散ファイバを使用する場合、数km乃至数10kmにもわたる長いものが必要となる。より大きな波長分散値の高分散ファイバが得られれば、それだけ短いものでよくなることは明らかである。これに対しては、位相変調を併用することで、高分散媒質の長さを短縮できる。図7は、その実施例の概略構成ブロック図を示す。図7に示す実施例では、第1の波長変換器に位相変調器を組み込み、入力光パルスに同期してプローブ光を位相変調するようにした。位相変調によるチャープングにより、高分散媒質内で光パルスのパルス幅が時間軸上で拡がることを利用する。

【0062】図7に示す実施例の構成と動作を説明する。入力端子140には、本線系から波長 $\lambda_i$ のRZ光パルス信号が入力する。光入力端子140に入力したRZ光パルスは、波長変換器142の光サーキュレータ144のポートAに入力する。光サーキュレータ144は、ポートAの入力光をポートBから出力し、ポートBの入力光をポートCから出力する光素子である。光サーキュレータ144のポートBはE A変調器146の一端面と光学的に結合し、E A変調器146の他端面には、

プローブ光源150から出力される波長 $\lambda_j$  ( $\neq \lambda_i$ ) のCWプローブ光が位相変調器148を介して入射する。EA変調器146は、EA変調器36と同様に一定DC電圧を印加されている。

【0063】EA変調器36と同様に、EA変調器146でも、その電極に入力光の強度変化に応じたフォトリントが発生する。発生したフォトリントはクロック抽出回路152に印加され、クロック抽出回路152は入力するフォトリントからクロック成分を抽出及び再生する。クロック抽出回路152により抽出されたクロックは、アンプ154により増幅され、位相シフタ156により位相シフト(位相調整)されて、位相変調器148に印加される。これにより、位相変調器148はプローブ光源150から出力されるプローブ光を、光サーキュレータ144のポートBからEA変調器146に入力する波長 $\lambda_i$ のRZ光パルスに同期して位相変調する。図8は、位相変調器148における位相変調と、光サーキュレータ144のポートBからEA変調器146に入力する波長 $\lambda_i$ のRZ光パルスとの関係の模式図を示す。図8(A)はRZ光パルスのタイミングを示し、図8(B)は位相変調器148による位相変化を示す。図8(A)の縦軸は光強度、横軸は時間をそれぞれ示す。図8(B)の縦軸は位相、横軸は時間をそれぞれ示す。

【0064】EA変調器146内では、波長 $\lambda_i$ のRZ光パルスと波長 $\lambda_j$ のCWプローブ光が互いに逆方向に進行する。これにより、波長 $\lambda_j$ のプローブ光の光強度が、波長 $\lambda_i$ のRZ光パルスの光強度変化を反映したものとなり、信号を搬送する光キャリアの波長が、波長 $\lambda_i$ から波長 $\lambda_j$ に変換されたことになる。

【0065】EA変調器146から出力される波長 $\lambda_j$ のプローブ光は、光サーキュレータ144のポートBに入力し、そのポートCから波長変換器142の外に出力される。光サーキュレータ144のポートCの出力光は、波長 $\lambda_j$ のみを通過する光バンドパスフィルタ158及び、光パルス幅を時間軸上で広げる光パルス拡幅器160を介して第2の波長変換器162に入力する。光バンドパスフィルタ158は、波長 $\lambda_i$ の成分が後段に供給されるのを防止するために設けられる。光パルス拡幅器160は、例えば、波長 $\lambda_j$ で大きな波長分散を具備する高分散媒体、例えば高分散ファイバからなる。光パルス内で図8に示すような関係で位相が変動している光パルスが波長分散の大きな媒質内を通過すると、光パルスのパルス幅が時間的な前後に広がることを利用する。位相変調器148における位相変調、具体的には位相シフタ156による位相調整量は、このようなパルス幅拡張をもたらすように設定される。例えば、10Gb/sの伝送レートの場合で、光パルス拡幅器160は、光フィルタ158からの波長 $\lambda_j$ の光パルスのパルス幅を、20~30psから40~60psに、即ち2

倍程度に拡張する。

【0066】光パルス拡幅器160の出力光は第2の波長変換器162の光サーキュレータ164のポートAに入力し、ポートBから出力する。光サーキュレータ164のポートBの出力光はEA変調器166の一方の面に入射する。波長変換器162は、波長 $\lambda_j$ とは異なる波長 $\lambda_k$ のCWプローブ光を出力する第2のプローブ光源168を具備する。 $\lambda_k$ は $\lambda_i$ と等しくても良い。プローブ光源168から出力されるプローブ光はEA変調器170に入力する。位相シフタ172は、アンプ154の出力、即ち、クロック抽出回路152により抽出及び再生されたクロックの位相を調節して、EA変調器170の電極に印加する。EA変調器170は、位相シフタ172の出力に応じてプローブ光源168の出力光を強度変調する。EA変調器170の出力は、クロック抽出回路152により抽出及び再生されたクロックと同じ周波数のRZ光パルス列になっており、これが、EA変調器166にその他面から入射する。

【0067】EA変調器166では、光サーキュレータ164のポートBの出力光(波長 $\lambda_j$ )と、EA変調器170から入力するRZパルス化されたプローブ光(波長 $\lambda_k$ )が、互いに逆方向に進行する。EA変調器146の場合と同様に、RZ化されたプローブ光は、光サーキュレータ164のポートBの出力光(波長 $\lambda_j$ )の強度によりゲート又はサンプリングされる。その結果として、信号を搬送する光キャリアが、波長 $\lambda_j$ の光から波長 $\lambda_k$ の光に変更されることになる。EA変調器166の代わりに、半導体レーザ増幅器を使用しても良い。ゲインの点では、半導体レーザ増幅器の方が好ましいが、信号対雑音比及び非反転出力波形が得られる点では、EA変調器の方が好ましい。

【0068】EA変調器166を通過した波長 $\lambda_k$ のプローブ光は、光入力端子140に入力するパルス信号光を、所謂、3R(Retiming, Reshaping及びRegeneration)再生したものになっている。EA変調器166を通過した波長 $\lambda_k$ のプローブ光は、光サーキュレータ164のポートBに入力し、そのポートCから出力される。光サーキュレータ164のポートCには、波長 $\lambda_k$ のみを透過する光バンドパスフィルタ174が接続し、これにより、光サーキュレータ164のポートCの出力光から波長 $\lambda_k$ の成分のみが抽出される。光バンドパスフィルタ174の出力光は光出力端子176から外部に出力される。光バンドパスフィルタ174を設けることにより、余分な光、例えば、EA変調器166の端面で反射された波長 $\lambda_j$ の光が外部に出力されるのを防止できる。

【0069】図7に示す実施例では、位相変調器148による位相変調と高分散媒質を使用する光パルス拡幅器160とを併用することにより、光パルス拡幅器160で使用される高分散媒質の長さを大幅に短縮でき、光パ

ルス拡幅器 160 自体を、ひいては、図示実施例の全体を小型化できる。図 5 に示す従来例では、光パルス幅を時間軸上で広げるのに 2 つのプローブ光源 118、120、AWG のような波長分離素子 128、所定光路差の 2 つの光路 130a、130b 及び合波器 132 を必要としたが、本実施例では、単一のプローブ光源 150 で済み、合分波も不要になるので、コストを低減できると共に、信頼性も向上する。また、調整要素が少なくなるので、製造及び保守が容易になる。

【0070】光パルス拡幅器 160 としては、上述したように、累積波長分散を補償するのに使用される高分散の光ファイバ、いわゆる分散等化ファイバのみからなるものを使用しても良いが、図 9 に示すように、チャープトファイバグレーティングと光サーキュレータを組み合わせたものを使用しても良い。チャープトファイバグレーティングは、その作用上、高分散ファイバと同視できる。図 9 に示す構成では、光バンドパスフィルタ 158 の出力光は、光サーキュレータ 180 のポート A に入射する。光サーキュレータ 180 のポート B には、チャープトファイバグレーティング 182 が接続する。チャープトファイバグレーティング 182 は、その長手方向に反射波長がシフトしているグレーティング素子である。本実施例では、グレーティングの長波長反射側を光サーキュレータ 180 のポート B に接続する。チャープトファイバグレーティング 182 のほぼ中間位置での反射波長を波長  $\lambda_j$  としてある。光サーキュレータ 180 のポート C が光サーキュレータ 164 のポート A に接続する。

【0071】図 9 に示す構成では、光バンドパスフィルタ 158 の出力光は、光サーキュレータ 180 のポート A に入力し、ポート B から出力されて、チャープトファイバ・グレーティング 182 に入射する。チャープトファイバ・グレーティング 182 は、実質的に高分散ファイバと同様に機能し、チャープトファイバ・グレーティング 182 の反射パルス光は、そのパルス幅が入力パルス光よりも時間軸上で広がる。チャープトファイバ・グレーティング 182 で反射したパルス光は、光サーキュレータ 180 のポート B に入力し、そのポート C から出射して、光サーキュレータ 164 のポート A に入射する。

【0072】チャープトファイバ・グレーティング 182 の長さが 1 cm 程度であるときには、パルス幅が数フェムト秒の光パルスを数 ps 程度にしか拡幅できないが、数 m 程度の長さを実現した場合には、上述の高分散ファイバの場合と同程度のパルス拡幅が可能になる。

【0073】チャープトファイバ・グレーティング 182 を、終端を全反射化した高分散ファイバで置換できる。その場合、高分散ファイバの長さを、高分散ファイバを透過状態で使用する場合に比べて半分にできることは明らかである。

【0074】光パルス幅を拡張する手段として高分散媒質を使用する場合、光源として単一縦モード発振のレーザを使用せずに、安定に同時多モード発振するファブリペロー・レーザ又は多波長レーザを使用することにより、波長分散によるパルス拡幅効果を増加させることができる。

【0075】図 10 は、その実施例の概略構成ブロック図を示す。入力端子 210 には、本線系から波長  $\lambda_i$  の RZ 光パルス信号が入力する。光入力端子 210 に入力した RZ 光パルスは、エルビウム添加光増幅ファイバ (EDFA) 212 により光増幅されて、第 1 の波長変換器 214 に入力する。第 1 の波長変換器 214 では、光増幅ファイバ 212 の出力光が光サーキュレータ 216 のポート A に入力し、そのポート B から EA 変調器 218 の一端面に入射する。プローブ光源 220 は、インコヒーレント光源又は多波長光源からなり、入力信号光の波長  $\lambda_i$  とは異なる波長  $\lambda_j$  のプローブ光を発生する。プローブ光源 220 の出力光は、EDFA 222 により光増幅されて EA 変調器 218 の他端面に入射する。EA 変調器 218 は、EA 変調器 36、144 と同様に一定 DC 電圧を印加されている。

【0076】EA 変調器 218 内では、波長  $\lambda_i$  の RZ 光パルスと波長  $\lambda_j$  の CW プローブ光が互いに逆方向に進行する。これにより、波長  $\lambda_j$  のプローブ光の光強度が、波長  $\lambda_i$  の RZ 光パルスの光強度変化を反映したものとなり、信号を搬送する光キャリアの波長が、波長  $\lambda_i$  から波長  $\lambda_j$  に変換されたことになる。

【0077】EA 変調器 218 から出力される波長  $\lambda_j$  のプローブ光は、光サーキュレータ 216 のポート B に入力し、そのポート C から波長変換器 214 の外に出力される。光サーキュレータ 216 のポート C の出力光は、波長  $\lambda_j$  のみを通過する光バンドパスフィルタ 224 及び、光パルス幅を時間軸上で広げる光パルス拡幅器 226 を介して第 2 の波長変換器 230 に入力する。

【0078】光バンドパスフィルタ 224 は、波長  $\lambda_i$  の成分が後段に供給されるのを防止するために設けられる。光パルス拡幅器 226 は、図 6 に示すマッハツェンダ干渉計からなる光パルス拡幅器 98、波長  $\lambda_j$  で大きな波長分散を具備する高分散媒体、例えば高分散ファイバ、又は、図 9 に示すチャープトグレーティング・ファイバを使用する構成からなる。図 10 に示す実施例では、プローブ光源 220 がインコヒーレント光源又は多波長光源のようにスペクトルの広い光を発生するので、例えば、高分散ファイバを使用した場合でも、その長さは短くてよくなり、従って、第 1 段の波長変換器 214 でプローブ光を予め位相変調しておかなくてもよくなる。また、光パルス拡幅器 226 として、図 6 に示すマッハツェンダ干渉計からなる光パルス拡幅器 98 を採用する場合には、プローブ光源 220 としてインコヒーレント光源を使用することにより、干渉の影響を軽減又は緩和で

きる。

【0079】光パルス拡幅器226の出力光は第2の波長変換器230に入力し、EDFA232により光増幅されて、光サーキュレータ234のポートAに入力し、ポートBから出力する。光サーキュレータ234のポートBの出力光はEA変調器236の一方の面に入射する。波長変換器230は、波長 $\lambda_j$ とは異なる波長 $\lambda_k$ のCWプローブ光を出力する第2のプローブ光源238を具備する。 $\lambda_k$ は $\lambda_i$ と等しくても良い。プローブ光源238から出力されるプローブ光はEA変調器240に入力する。EA変調器240は、後述するように、入力端子210に入力する光パルスから再生されたクロックに応じてプローブ光源238の出力プローブ光を強度変調してRZパルス化する。EA変調器240によりRZパルス化されたプローブ光は、EDFA242により光増幅されてEA変調器236の他面に入射する。

【0080】EA変調器36、144と同様に、EA変調器218でも、その電極に入力する光の強度変化(具体的には、入力端子210に入力する信号光の強度変化)に応じたフォトリントが発生する。発生したフォトリントはクロック抽出回路246に印加され、クロック抽出回路246は入力するフォトリントからクロック成分を抽出及び再生する。クロック抽出回路246により抽出されたクロックは、位相シフタ248により位相調整され、アンプ250により増幅されてEA変調器240に、その駆動信号として印加される。アンプ250の出力電圧に従って、EA変調器240はプローブ光源238の出力光を上述の通りRZ光パルス化する。EA変調器240の出力は、クロック抽出回路146により抽出及び再生されたクロックと同じ周波数のRZ光パルス列になっている。

【0081】EA変調器236では、光サーキュレータ234のポートBの出力光(波長 $\lambda_j$ )と、EDFA242から入力するRZパルス化されたプローブ光(波長 $\lambda_k$ )が、互いに逆方向に進行する。EA変調器218での作用と同様の作用により、RZ化されたプローブ光は、光サーキュレータ234のポートBの出力光(波長 $\lambda_j$ )の強度によりサンプリング又はゲートされる。その結果として、信号を搬送する光キャリアが、波長 $\lambda_j$ の光から波長 $\lambda_k$ の光に変更されることになる。

【0082】EA変調器236を通過した波長 $\lambda_k$ のプローブ光は、光入力端子210に入力するパルス信号光を、3R再生したものになっている。EA変調器236を通過した波長 $\lambda_k$ のプローブ光は、光サーキュレータ234のポートBに入力し、そのポートCから出力される。光サーキュレータ234のポートCには、波長 $\lambda_k$ のみを透過する光バンドパスフィルタ252が接続する。光バンドパスフィルタ252は、光サーキュレータ234のポートCの出力光から波長 $\lambda_k$ の成分のみを透過する。光バンドパスフィルタ252の出力光は光出力

端子254から外部に出力される。光バンドパスフィルタ252を設けることにより、余分な光、例えば、EA変調器236の端面で反射された波長 $\lambda_j$ の光が外部に出力されるのを防止できる。

【0083】図11は、偏波による伝搬時間差を利用して光パルス幅を拡張するようにした実施例の概略構成ブロック図を示す。図10と同じ構成要素には同じ符号を付してある。本実施例では、第1の波長変換器のプローブ光源としてインコヒーレント光源又は多波長光源を使用せず、図1に示す実施例と同様に、単一波長で狭スペクトルのレーザ光源を使用する。そして、プローブ光のTE波とTM波の伝搬遅延時間の差を利用して、光パルス幅を拡張する。

【0084】波長変換器214aは、波長変換器214のプローブ光源220の代わりに、狭スペクトルの単一波長 $\lambda_j$ でレーザ発振するプローブ光源260を具備する。波長変換器214aは、入力端子210に入力する波長 $\lambda_i$ の信号光を波長 $\lambda_j$ に変換し、光サーキュレータ216のポートCから外部に出力する。図10に示す実施例と同様に、光サーキュレータ216のポートCの出力光は、波長 $\lambda_j$ のみを通過する光バンドパスフィルタ224に入射し、ここで、波長 $\lambda_j$ のみを抽出される。

【0085】偏波調整器262は、光バンドパスフィルタ224の出力光の偏波を、偏波分散媒質264の主軸(ファースト軸又はスロー軸)に対して45°傾くように調整して、偏波分散媒質264に入射する。このような偏波調整が不要のときには、偏波調整器262を省略できることは明らかである。偏波分散媒質264は、入力光パルス幅相当の大きな偏波分散を具備する偏波保存ファイバ又は石英光導波路(PLC)からなる。いうまでもないが、この実施例では、プローブ光源260から偏波分散媒質264までの光路を、偏波面保存の伝送媒体としておく。

【0086】偏波分散媒質264の長さは、光パルスが伝搬する過程で、スロー軸の光パルスがファースト軸の光パルスに対して1パルス幅分程度遅れ、その結果、偏波分散媒質264の出力段階で、直交する偏波の光パルスが時間軸上で光パルス幅程度、ずれて合波するように調整される。即ち、偏波分散媒質264は、偏波方向の伝搬時間の差を利用して、光パルス幅を拡張する。図12は、ファースト軸上の光パルスとスロー軸上の光パルスの伝搬の様子と合波後の光パルス波形を示す模式図を示す。

【0087】入力端子210に入力する信号光は、長い伝送路を伝送してくるので、その偏波がランダムに変動する可能性がある。従って、図11に示す実施例では、光サーキュレータ216のポートBとEA変調器218との間の偏波保存ファイバの長さは、入力信号光がそれを伝搬する間に偏波分散の影響を受けない程度に短くし

ておく必要がある。

【0088】偏波分散媒質264により光パルス幅を拡張されたパルス光(波長 $\lambda_j$ )は、波長変換器230に inputs。波長変換器230の動作は、図10に示す実施例と同じであるので、詳細な説明を省略する。

【0089】図11に示す実施例を、消光比を大きくすると共に、S/N比を改善するように変更した実施例を説明する。図13は、その変更実施例の概略構成ブロック図を示す。図11と同じ構成要素には、同じ符号を付してある。

【0090】図13に示す実施例では、光バンドパスフィルタ224と偏波調整器262の間に、光ゲート装置270を配置した。光ゲート装置270は、クロック抽出回路246により抽出されたクロックに従い、光バンドパスフィルタ224の出力光から信号パルス部分を打ち抜く。本実施例では、ジッタ変動に追従できるように、ゲート結果に応じてゲートのタイミングを自動調整するようにした。

【0091】図13に示す実施例の変更部分を詳細に説明する。光ゲート装置270では、EDFA272が、光バンドパスフィルタ224の出力光を増幅し、MZ光強度変調器274が、EDFA272の出力光から信号光のマーク部分をゲートする。MZ光強度変調器274の作用の詳細は後述する。分波器276は、MZ光強度変調器274の出力光のほとんどを偏波調整器262に供給し、残りを位相制御装置278に供給する。位相制御装置278は、入射光を電気信号に変換するフォトダイオードと、フォトダイオードの出力から、クロックの位相を制御する位相制御信号を生成する回路を具備する。そのフォトダイオードは、信号のクロック周波数に追従できる程度の低速のものでよく、安価に入手できる。位相シフタ280は、クロック抽出回路246により抽出されたクロックの位相を、位相制御装置278からの位相誤差信号により指定されるシフト量だけシフトする。位相シフタ280により位相シフトされたクロックはアンプ282により増幅され、変調信号又は光ゲート制御信号としてMZ光強度変調器274に印加される。

【0092】分波器276、位相制御装置278、位相シフタ280及びアンプ282により、MZ光強度変調器274は、MZ光強度変調器274の出力光の平均パワーが最大になるように帰還制御される。

【0093】クロック抽出回路246から出力されるクロック波形は、通常、正弦波である。MZ光強度変調器274の、変調信号電圧に対する透過特性は、通常、図14に示すように正弦波状になる。従って、正弦波変調信号(アンプ282の出力)の電圧振幅を $V_p$ 、バイアス電圧を $V_p/2$ 付近に調整すると、MZ光強度変調器274に矩形の光ゲート動作を行なわせることができる。図15は、光ゲート動作の模式図を示す。図15

(A)は、光ゲート装置270の入力光信号の波形、同(B)は、MZ光強度変調器274による光ゲート特性、同(C)は、光ゲート装置270の出力波形をそれぞれ示す。この光ゲート動作により、光ゲート装置270は、入力光パルス信号の信号対雑音比及び消光比を改善することができる。スペース部分(信号'0'の部分)では雑音が残留するが、この雑音は、第2の波長変換器230のEA変調器236の動作バイアス電圧を適切に設定することで、除去できる。EA光変調器のバイアス電圧(逆バイアス電圧)に対する吸収損失特性は、図16に示すように、バイアス電圧を深くするほど、スペース部分の雑音を圧縮するようになるからである(枝川他、OFC '97, TuO5, pp. 77-78, 1997参照)。図16では、縦軸は透過率、横軸は入力光強度をそれぞれ示す。

【0094】光ゲート動作を行なわせるMZ光強度変調器274は、狭帯域クロック信号で変調すればよく、広帯域の変調特性を要求されないので、容易にしかも安価なものを入手できる。このような用途に使用し得るMZ光強度変調器は例えば、LiNbO<sub>3</sub>(リチウムナイオベート)光導波路を用いたものがある。

【0095】位相制御装置278を設けたことにより、光ゲート動作を入力光パルスのジッタ変動に自動で追従させることが可能になる。第2の波長変換器230でも、EA変調器240の出力光の平均パワーが最大になるように、位相シフタ248の位相シフト量を制御する、位相制御装置278と同様の位相制御装置を設けることにより、全光再生装置内で発生するジッタを吸収することができる。

【0096】図17は、位相制御装置278の概略構成ブロック図を示す。制御回路284は、位相シフタ280の位相シフト量を制御する位相誤差信号を出力する。低周波発振器286は、伝送光パルスのビットレートに比べて充分低い周波数、例えば、数kHzで発振する。制御回路284から出力される誤差信号に低周波発振器286の出力が加算されて、位相シフタ280の制御入力に印加される。これにより、位相シフタ280は、クロック抽出回路246からのクロック信号の位相を誤差信号で指定される量だけシフトすると共に、低周波発振器286の出力周波数で変調(ディザリング)する。位相変調器280により位相シフトされ、位相変調されたクロックはアンプ282により増幅され、バイアス電源292から出力されるバイアス電圧でバイアスされてMZ光強度変調器274に印加される。MZ光強度変調器274における光ゲートと、入力光パルスとの関係を図18に示す。光ゲートのタイミングが、低周波数発振器286の発振周波数で変動する。

【0097】上述のように、MZ光強度変調器274の出力光の一部が分波器276で分波されて、位相制御装置278の低速受光素子288に入力する。受光素子2

88は、分波器276からの光パルスを電気パルスに変換し、ミキサ290に供給する。ミキサ290には、低周波発振器286の出力が印加されている。ミキサ290は両入力を乗算して、位相シフト280で導入した変調信号を同期検波（ロックイン検波）し、検波結果を制御回路284に供給する。このロックイン検波により、光ゲートの平均位相と光パルスの位相との差に応じた図19に示すような位相弁別特性を得ることができる。制御回路284は、ミキサ290の出力に従い、MZ光強度変調器274における光ゲート中にその入力光パルスが入る方向に位相シフト280の位相シフト量を変更する上述の位相誤差信号を発生し、位相シフト280に供給する。

【0098】このような自動位相制御ループを採用することにより、位相シフト280の位相シフト量を、位相誤差信号がゼロの付近にロックさせるような値に自動調整できる。制御帯域は、伝送路で生じるジッタの帯域をカバーできればよい。この構成では、入力光パルスの光強度が変動していても、単峰光パルスである限り、安定な自動位相制御が可能になる。但し、低周波発振器286から出力される変調信号による位相変位量が大きすぎると、MZ光強度変調器274の出力光に強度変動雑音が発生し、これが信号品質を劣化させるので、変調信号の振幅は必要最低限とするのが好ましい。

【0099】MZ光強度変調器274の代わりにEA変調器を使用する場合、光ゲートの位相が信号光パルスに対してずれているときには、平成9年特許願第189748号に詳細に説明されているように、信号光（の一部）が吸収され、変調器電極に流れるフォトカレントが増加するので、これを利用して、同様の自動位相制御を実現することもできる。

【0100】光ゲート装置270は、図1、図6及び図10に示す各実施例にも適用することができる。

【0101】図6及び図7では、素子間に光アンプ（EDFA）を図示していないが、実際には、例えば、図10に示す実施例の光アンプ212、222、232、242に相当する位置に光アンプが挿入される。光レベルが十分な箇所では、光アンプは不要になることはない。

【0102】上記各実施例では、波長変換素子、即ち、EA変調器36、146、166、218、236内で信号光とプローブ光が逆方向に伝搬するように、波長変換素子に信号光とプローブ光を入射しているが、これらが同方向に伝搬するように変更しても良い。

【0103】図20は、波長変換素子内で信号光とプローブ光を同方向に伝搬させるように、図13に示す実施例を変更した例の概略構成ブロック図を示す。光入力端子310には、本線系から波長 $\lambda_i$ のRZ光パルス信号が入力する。光入力端子310に入力したRZ光パルスは、EDFA312により光増幅されて、第1の波長変

換器314に入力する。

【0104】第1の波長変換器314では、プローブ光源316が、入力信号光の波長 $\lambda_i$ とは異なる狭スペクトルの単一波長 $\lambda_j$ のプローブ光を発生する。プローブ光源316の出力光は、EDFA318により光増幅されてWDMカップラ320に入射する。WDMカップラ322にはEDFA312の出力光も入射しており、WDMカップラ320は両入射光を合波してEA変調器322に供給する。WDMカップラ320は、例えば、図21に示すような誘電体多層膜フィルタからなる。1乃至2dB程度の挿入損失で信号光とプローブ光を合波できる。ファイバ・カップラを用いても良いが、その場合、3dB以上の分岐損失が発生する。

【0105】EA変調器322は、EA変調器36、144、218と同様に一定DC電圧を印加されている。EA変調器322内では、波長 $\lambda_i$ のRZ光パルスと波長 $\lambda_j$ のCWプローブ光が同方向に進行し、その間に、波長 $\lambda_j$ のプローブ光の光強度が、波長 $\lambda_i$ のRZ光パルスの光強度変化を反映したものとなり、信号を搬送する光キャリアの波長が、波長 $\lambda_i$ から波長 $\lambda_j$ に変換される。

【0106】光バンドパスフィルタ324は、EA変調器322の出力光（波長 $\lambda_i$ の原信号光と波長 $\lambda_j$ のプローブ光）から波長 $\lambda_j$ 成分のみを抽出する。光バンドパスフィルタ324の出力光が、第1の波長変換器314の出力光となる。EA変調器322の出力光が波長 $\lambda_i$ の原信号光と波長 $\lambda_j$ のプローブ光の両方を含むので、波長変換器314は必ず、その出力段に光バンドパスフィルタ324を具備しなければならない。

【0107】EA変調器36、144、218と同様に、EA変調器322も、その電極に入力する光の強度変化（具体的には、波長 $\lambda_i$ の原信号光の強度変化）に応じたフォトカレントを発生する。発生したフォトカレントはクロック抽出回路326に印加される。クロック抽出回路326は、クロック抽出回路246と同様に、入力するフォトカレントからクロック成分を抽出及び再生する。

【0108】波長変換器314（光バンドパスフィルタ324）の出力光は、光ゲート装置328に印加される。光ゲート装置328は光ゲート装置270と同じ構成からなり、全く同じに動作する。すなわち、光ゲート装置328は、クロック抽出回路326により抽出されたクロックに従い、光バンドパス・フィルタ324の出力光から信号パルス部分を打ち抜く。

【0109】光ゲート装置328の出力光は、光パルス拡幅器330に入射する。光パルス拡幅器330は、図11及び図13に示す実施例と同様に、偏波調整器262と同じ偏波調整器332及び偏波分散媒質264と同じ偏波分散媒質334からなる。光パルス拡幅器330は、図11及び図13に示す実施例における偏波調整器

262及び偏波分散媒質264と全く同様に作用し、光ゲート装置328の出力光パルスの光パルス幅を時間軸上で拡張する。偏波により光パルス幅を拡張するので、プローブ光源316から偏波分散媒質334までの光路を、偏波面保存の伝送媒体としておくことは勿論である。

【0110】光パルス拡幅器330の出力光は、第2の波長変換器336に入射する。また、クロック抽出回路326により抽出され出力されるクロックは、位相シフタ338により位相調整され、アンプ340により増幅されて第2の波長変換器336に印加される。

【0111】第2の波長変換器336では、EDFA342が、光パルス拡幅器334の出力光を光増幅し、WDMカップラ344に供給する。プローブ光源346は、第1のプローブ光の波長 $\lambda_j$ とは異なる波長 $\lambda_k$ の第2のプローブ光を発生する。波長 $\lambda_k$ は波長信号光の波長 $\lambda_i$ と等しくても良い。プローブ光源346から出力されるプローブ光はEA変調器348に入力する。EA変調器348の電極には、アンプ340の出力信号が印加される。即ち、EA変調器348は、クロック抽出回路326から出力されるクロックに従って駆動され、プローブ光源346の出力プローブ光を強度変調してRZパルス化する。EA変調器348によりRZパルス化されたプローブ光は、EDFA350により光増幅されてWDMカップラ346に供給される。

【0112】WDMカップラ344は、EDFA342、350の出力光を合波し、その合波光をEA変調器352に供給する。WDMカップラ344もまた、WDMカップラ320と同様に誘電体多層膜からなる。EA変調器352は、EA変調器236と同様に一定DC電圧を印加されている。EA変調器354内では、光パルス拡幅器330の出力光（波長 $\lambda_j$ の第2のプローブ光）と、EA変調器348によりRZ光パルス化された波長 $\lambda_k$ の第2のプローブが同方向に進行し、その間に、波長 $\lambda_k$ の第2のプローブパルス光が、光パルス拡幅器330の出力光によりサンプリングされる。これにより、信号を搬送する光キャリアの波長が、波長 $\lambda_j$ から波長 $\lambda_k$ に変換されると共に、パルス波形が整形されると共に信号パルスがリタイミングされる。

【0113】光バンドパスフィルタ354は、EA変調器352の出力光（波長 $\lambda_j$ の第1のプローブ光と波長 $\lambda_k$ の第2のプローブ光）から波長 $\lambda_k$ 成分のみを抽出する。光バンドパスフィルタ354の出力光が、第2の波長変換器336の出力光として出力端子356から外部に出力される。EA変調器352の出力光が波長 $\lambda_j$ の成分と波長 $\lambda_k$ の成分の両方を含むので、波長変換器336は必ず、その出力段に光バンドパスフィルタ354を具備しなければならない。

【0114】波長変換素子内で信号光とプローブ光を同方向に伝搬させることは、他の実施例、即ち、図1、図

6、図7及び図11に示す各実施例にも適用できる。

【0115】WDMカップラ344もまた、WDMカップラ320と同様に、図21に示すような誘電体多層膜フィルタからなる。

【0116】上記各実施例において、位相シフタ44、172、248は、その位相調整量を自動制御できるものであるのが好ましい。例えば、出力端子58、176、254の出力光に従って、位相シフタ44、172、248の位相調整量を自動制御する位相制御回路を外部に設ければよい。その位相制御回路の構成は、位相制御回路278と同様でよい。

【0117】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、より少ない素子で信号光を光のまま再生し、リタイミング及び波形整形することができる。高価な高速フォトダイオードが不要になるので、コストを低減できる。素子数を少なくできるので、信頼性が向上する。また、本発明によれば、入力信号光のジッタが強くなり、信号対雑音比及び消光比を改善でき、信号の抜けを効果的に防止できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施例の概略構成ブロック図である。

【図2】 本実施例を使用する光クロスコネクト装置の概略構成ブロック図である。

【図3】 波長分割多重伝送システムに適した波長可変プローブ光源の概略構成ブロック図である。

【図4】 従来の光デジタル再生装置の概略構成ブロック図である。

【図5】 従来の光デジタル再生装置の概略構成ブロック図である。

【図6】 本発明の第2実施例の概略構成ブロック図である。

【図7】 本発明の第3実施例の概略構成ブロック図である。

【図8】 位相変調器148における位相変調と、EA変調器146に入力する波長 $\lambda_i$ のRZ光パルスとの関係の模式図であり、図8(A)はRZ光パルスのタイミングを示し、図8(B)は位相変調器148による位相変化を示す。

【図9】 光パルス拡幅器の別の構成例を示す概略構成ブロック図である。

【図10】 本発明の第4実施例の概略構成ブロック図である。

【図11】 本発明の第5実施例の概略構成ブロック図である。

【図12】 偏波分散媒質264のファースト軸上の光パルスとスロー軸上の光パルスの伝搬の様子と合波後の光パルス波形を示す模式図である。

【図13】 本発明の第6実施例の概略構成ブロック図

である。

【図14】 MZ光強度変調器274の、変調信号電圧に対する透過特性の模式図である。

【図15】 MZ光強度変調器274による光ゲート動作の模式図であり、図15(A)は、光ゲート装置270の入力光信号の波形、同(B)は、MZ光強度変調器274による光ゲート特性、同(C)は、光ゲート装置270の出力波形をそれぞれ示す。

【図16】 EA光変調器のバイアス電圧（逆バイアス電圧）に対する吸収損失特性である。

【図17】 位相制御装置278の概略構成ブロック図である。

【図18】 MZ光強度変調器274における光ゲートと入力光パルスとの関係の模式図である。

【図19】 図17に示す構成による位相弁別特性の模式図である。

【図20】 波長変換素子内で信号光とプローブ光が同方向に伝搬する変更実施例の概略構成ブロック図である。

【図21】 WDMカップラ320の構成例である。

【符号の説明】

10：入力端子  
12：光カップラ  
14：高速フォトダイオード  
16：クロック抽出回路  
18：波長変換器  
20：波長変換器  
22：アンプ  
24：位相シフト  
30：光入力端子  
32：波長変換器  
34：光サーキュレータ  
36：電気吸収（EA）型光変調器  
38：プローブ光源  
40：クロック抽出回路  
42：アンプ  
44：位相シフト  
46：波長変換器  
48：光サーキュレータ  
50：半導体レーザ増幅器  
52：プローブ光源  
54：波長可変光源  
56：光変調器  
60a, 60b, 60c, 60d：光入力端子  
62a～62d：光アンプ  
64a～64d：波長分離素子（例えば、1×Mのアレイ導波路格子）  
66a-1～66a-M：全光信号再生装置  
66b-1～66b-M：全光信号再生装置  
66c-1～66c-M：全光信号再生装置

66d-1～66d-M：全光信号再生装置

68a～68d：M×4光スイッチ

70a～70d：4×1光カップラ

72a～72d：光アンプ

74a～74d：光出力端子

80：アレイ導波路格子

82：光スイッチ

84：光増幅器

86：EA変調器

88：半導体レーザ増幅器

90, 92：光カップラ

94：高速波形モニタ

96：バイアス制御回路

98：光パルス拡幅器

98a：分波器

98b, 98c：光路

98d：合波器

98e：ヒータ

110：入力端子

112：光カップラ

114：クロック再生回路

116：LD駆動回路

118, 120：DFBレーザ

122：合波器

124：半導体光増幅器（SOA）

126：光サーキュレータ

128：波長分離素子

130a, 130b：光路

132：合波器

134：マッハツェンダ干渉型波長変換器

136：DFBレーザ

138：光バンドパスフィルタ

140：入力端子

142：波長変換器

144：光サーキュレータ

146：EA変調器

148：位相変調器

150：プローブ光源

152：クロック抽出回路

154：アンプ

156：位相シフト

158：光バンドパスフィルタ

160：光パルス拡幅器

162：波長変換器

164：光サーキュレータ

166：EA変調器

168：プローブ光源

170：EA変調器

172：位相シフト

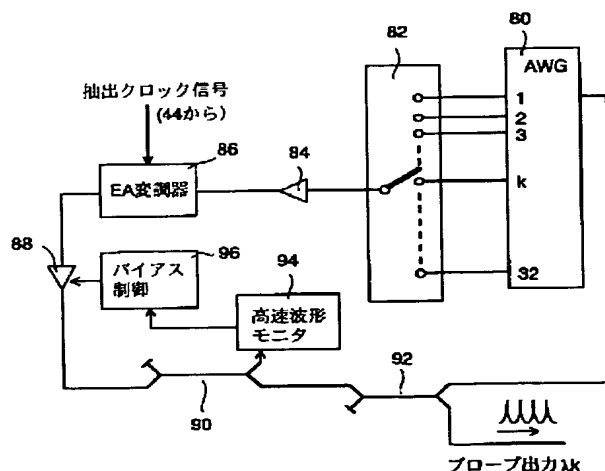
174：光バンドパスフィルタ



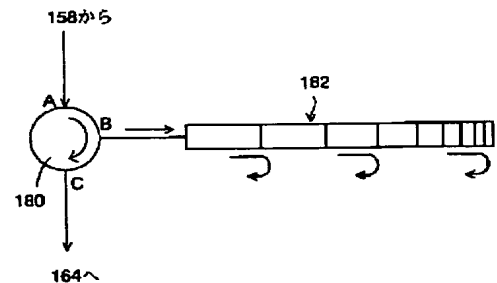
176 : 光出力端子  
 180 : 光サーキュレータ  
 182 : チャーフトファイバグレーティング  
 210 : 入力端子  
 212 : エルビウム添加光増幅ファイバ (EDFA)  
 214 : 波長変換器  
 214a : 波長変換器  
 216 : 光サーキュレータ  
 218 : EA変調器  
 220 : プローブ光源  
 222 : EDFA  
 224 : 光バンドパスフィルタ  
 226 : 光パルス拡幅器  
 230 : 波長変換器  
 232 : エルビウム添加光増幅ファイバ (EDFA)  
 234 : 光サーキュレータ  
 236 : EA変調器  
 238 : プローブ光源  
 240 : EA変調器  
 242 : エルビウム添加光増幅ファイバ (EDFA)  
 246 : クロック抽出回路  
 248 : 位相シフト  
 250 : アンプ  
 252 : 光バンドパスフィルタ  
 254 : 光出力端子  
 260 : プローブ光源  
 262 : 偏波調整器  
 264 : 偏波分散媒質  
 270 : 光ゲート装置  
 272 : エルビウム添加光増幅ファイバ (EDFA)  
 274 : MZ光強度変調器  
 276 : 分波器

278 : 位相制御装置  
 280 : 位相シフト  
 282 : アンプ  
 284 : 制御回路  
 286 : 低周波発振器  
 288 : 受光素子  
 290 : ミキサ  
 292 : バイアス電源  
 310 : 光入力端子  
 312 : EDFA  
 314 : 波長変換器  
 316 : プローブ光源  
 318 : EDFA  
 320 : WDMカップラ  
 322 : EA変調器  
 324 : 光バンドパスフィルタ  
 326 : クロック抽出回路  
 328 : 光ゲート装置  
 330 : 光パルス拡幅器  
 332 : 偏波調整器  
 334 : 偏波分散媒質  
 336 : 波長変換器  
 338 : 位相シフト  
 340 : アンプ  
 342 : EDFA  
 344 : WDMカップラ  
 346 : プローブ光源  
 348 : EA変調器  
 350 : EDFA  
 352 : EA変調器  
 354 : 光バンドパスフィルタ  
 356 : 出力端子

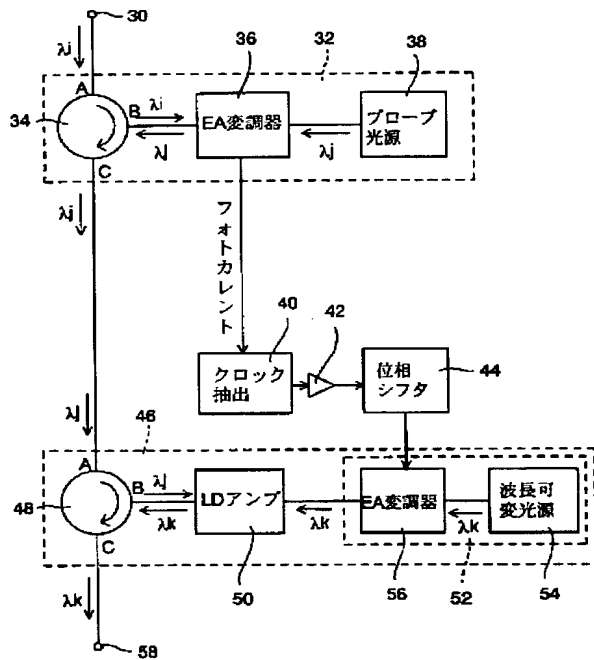
【図3】



【図9】

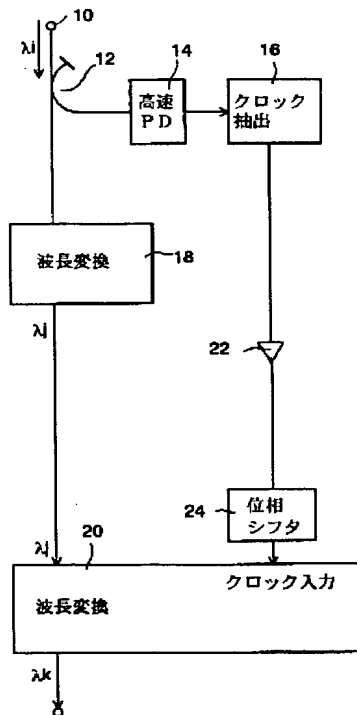


【図1】

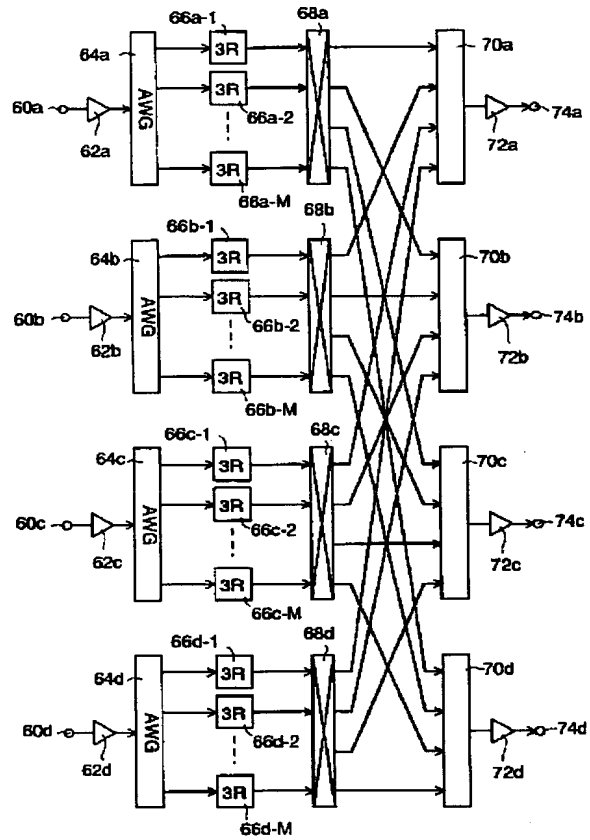


【図4】

従来例

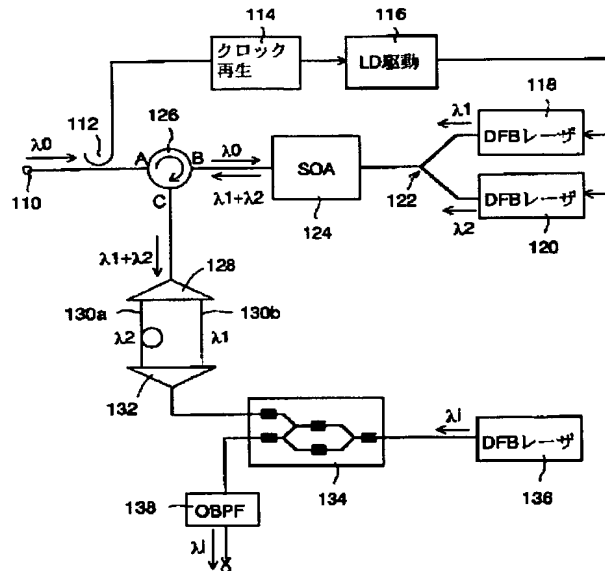


【図2】

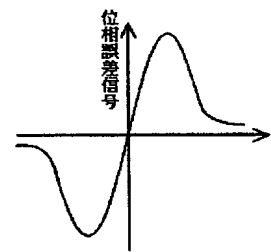


【図5】

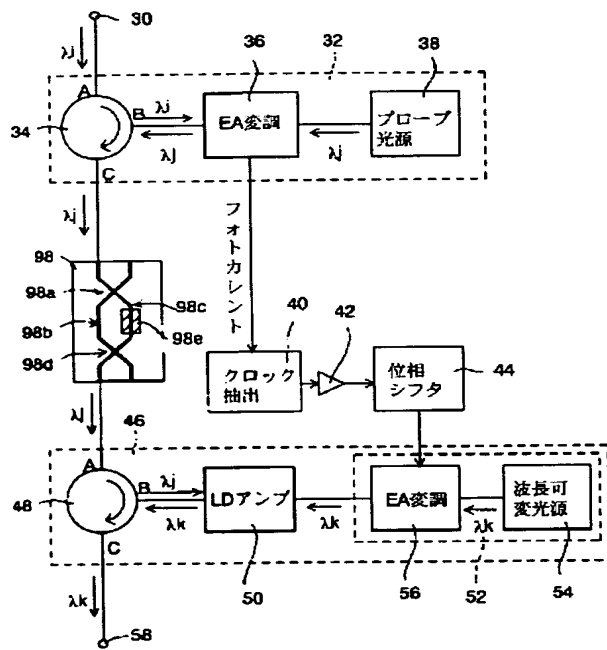
従来例



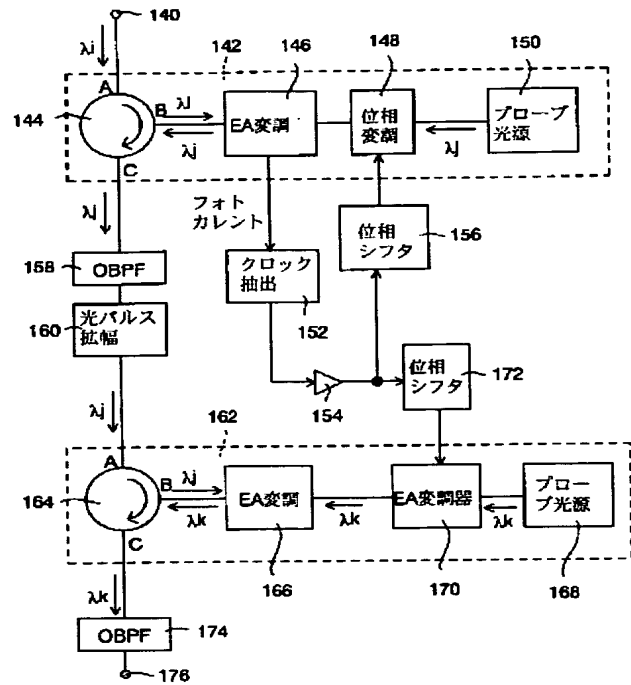
【図19】



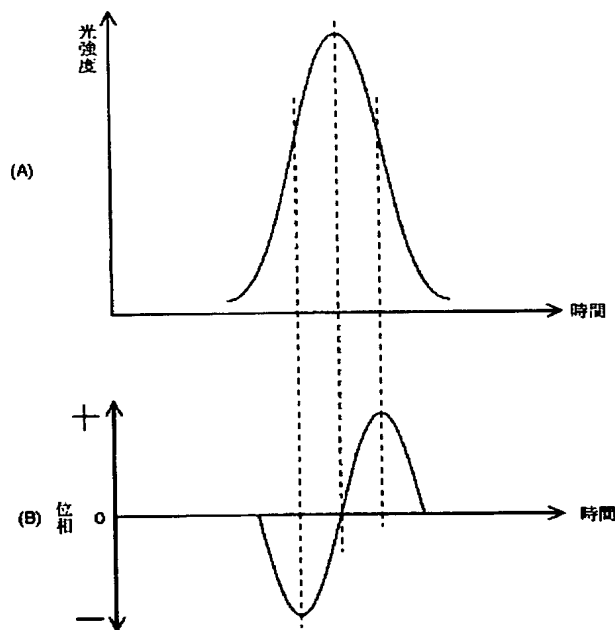
【図6】



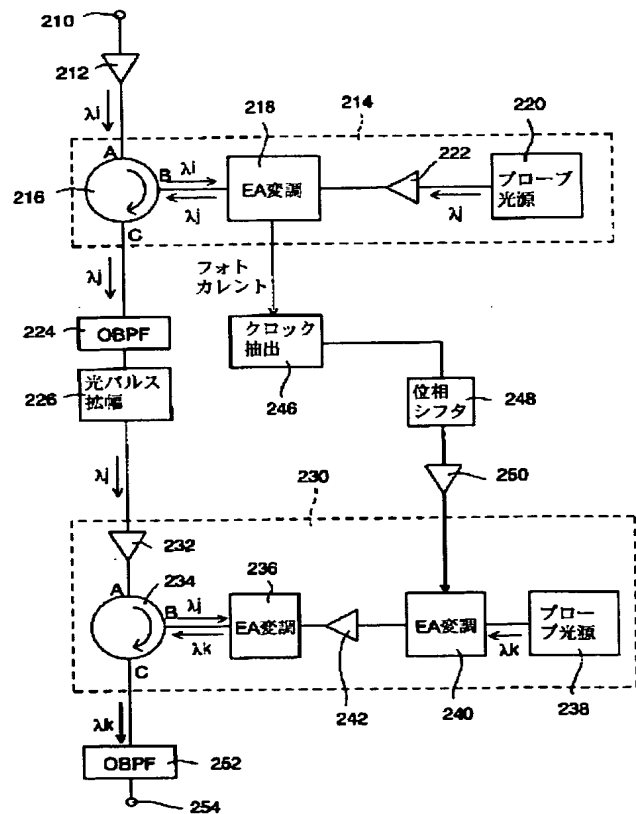
【図7】



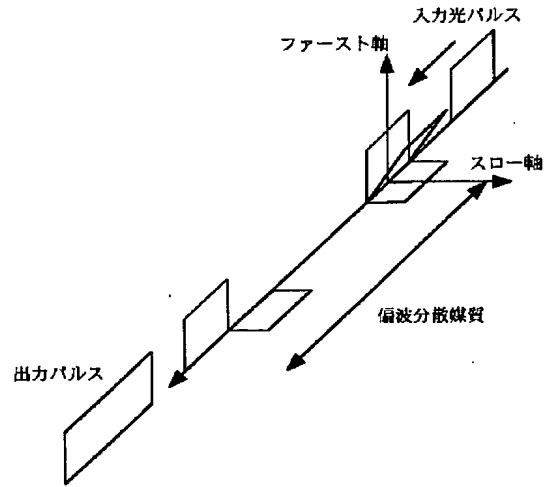
【図8】



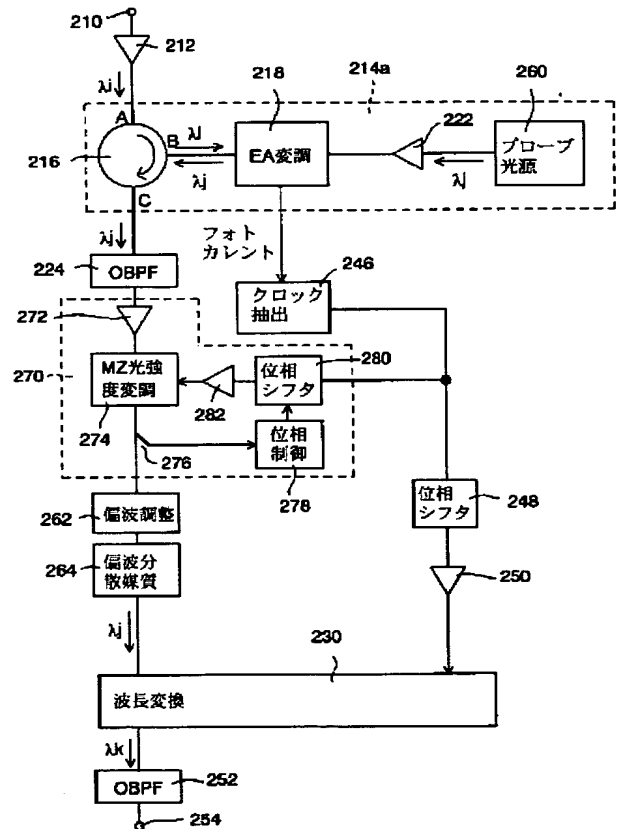
【図10】



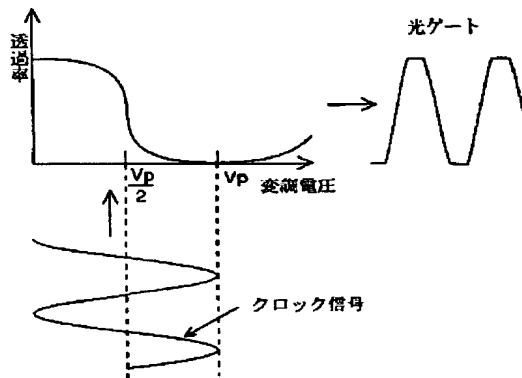
【图 12】



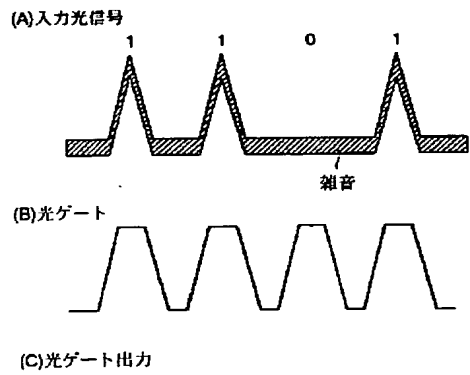
【图 13】



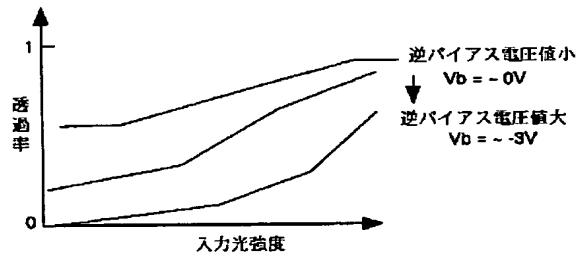
【図 14】



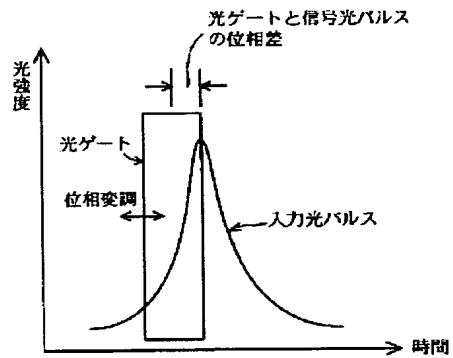
【図15】



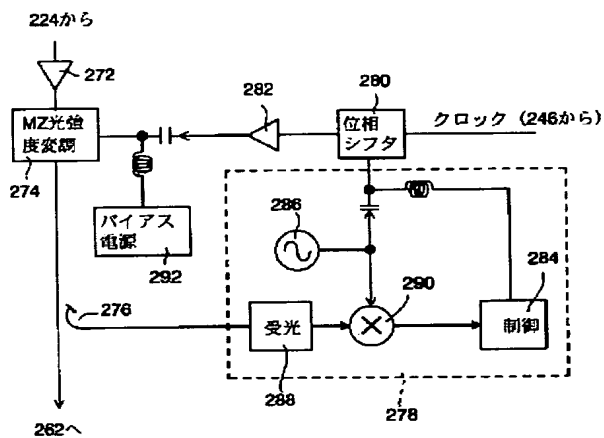
【図16】



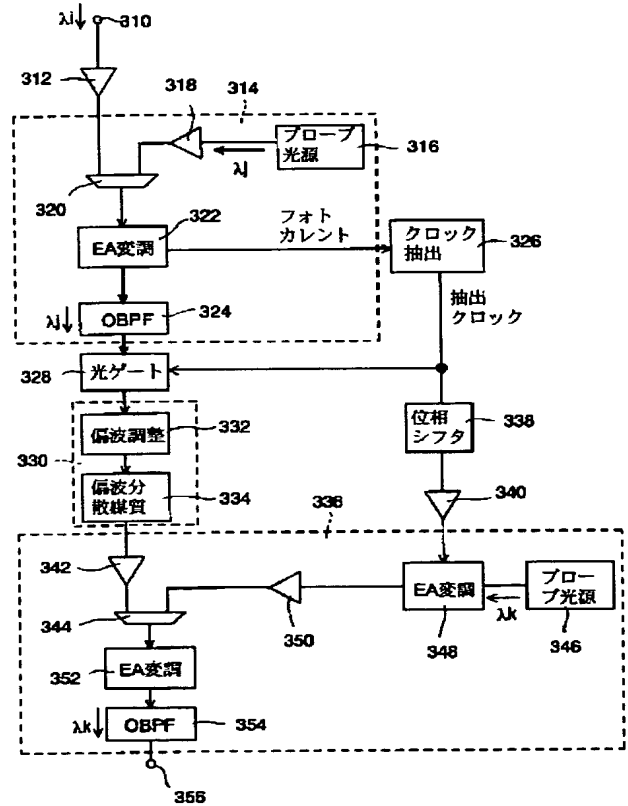
【図18】



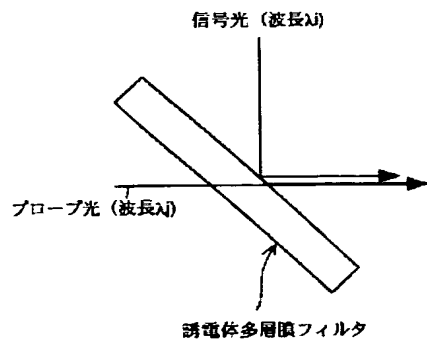
【図17】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 正敏  
東京都新宿区西新宿2丁目3番2号ケイデ  
ィディ株式会社内  
(72)発明者 枝川 登  
東京都新宿区西新宿2丁目3番2号ケイデ  
ィディ株式会社内

(72)発明者 山本 周  
東京都新宿区西新宿2丁目3番2号ケイデ  
ィディ株式会社内  
Fターム(参考) 2H079 AA08 AA13 BA01 CA05 CA06  
CA09 DA16 KA18 KA19 KA20  
2K002 AA02 AB12 AB13 AB25 BA02  
CA13 GA10 HA30  
5K002 AA06 BA02 BA06 BA21 CA08  
CA12 CA15 CA16 DA07

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**